# PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 24. 16. März 1901. 2. Jahrgang.

INHALT.

**Originalmitteilungen:**
W. H. Julius, Sonnenphänomene als Folgen anomaler Dispersion des Lichtes betrachtet. (Schluss.) S. 357.
E. Villari, Antwort auf einige Bemerkungen von Herrn Ernst Dorn, betitelt: Versuch einer Erklärung der Beobachtungen von Herrn Emilio Villari über Entwickelung von elektrischen Ladungen durch „Röntgenluft". S. 360.
F. Himstedt und W. A. Nagel, Über die Einwirkung der Becquerel- und der Röntgenstrahlen auf das Auge. S. 362.
A. Nippoldt, Ein Satz über Fouriersche Reihen und seine Anwendung in der Geophysik. S. 363.

**Referate über die Berichte des Internationalen Physikerkongresses zu Paris:**
E. Warburg, Die Hysteresis. S. 365.
**Vorträge und Diskussionen von der 72. Naturforscherversammlung zu Aachen:**
E. Warburg, Die Hysteresis. S. 367.
**Gesuche.** S. 368.

## ORIGINALMITTEILUNGEN.

### Sonnenphänomene als Folgen anomaler Dispersion des Lichtes betrachtet.

Von W. H. Julius.

(Schluss.)

Öfters erscheinen die Chromosphärenlinien in sonderbarer Gestalt, mit Verdickungen, Ästen, Büscheln, abgelösten Teilen u. s. w.[1]) Bis jetzt hat man dies nur nach dem Dopplerschen Prinzip zu erklären gewusst, also durch die Voraussetzung, die strahlenden Gase nähern oder entfernen sich mit ungeheuren Schnelligkeiten, bis über 200 km in der Sekunde. Wie von den Astronomen allgemein anerkannt wird, stösst man mit dieser Erklärung auf viele grosse Schwierigkeiten, auf die wir hier nicht näher einzugehen brauchen.

Neben dem Dopplerschen Prinzip können wir jetzt in dem der anomalen Dispersion ein anderes anführen, das gleichfalls einem Gase die Fähigkeit beilegt, uns unter gewissen Umständen Licht zugehen zu lassen, das von den für diesen Stoff charakteristischen Strahlenarten in der Wellenlänge abweicht.

In einiger Entfernung über dem Sonnenrande befinde sich z. B. Wasserstoff von an verschiedenen Stellen sehr ungleicher Dichtigkeit. Derselbe wird alsdann nicht bloss sein eigenes Licht ausstrahlen, sondern auch stellenweise Photosphärenlicht von benachbarten Wellenlängen nach der Erde hinbiegen. Im Spektrum zeigt sich dies selbstverständlich als Auswüchse oder Verzweigungen der Wasserstofflinien oder als isolierte Lichtflecken in deren Nähe. Diese Erscheinungen wird man insonderheit erwarten können, wenn der Spalt auf Protuberanzen, wo heftige Bewegungen stattfinden, und also auch wohl bedeutende Dichtigkeitsdifferenzen vorkommen, eingestellt worden ist.

Obgleich nun unsere neue Erklärung dieser Unregelmässigkeiten im Spektrum gleichfalls auf der Voraussetzung beruht, dass mit denselben heftige Bewegungen in der Sonnenatmosphäre verbunden seien, so brauchen wir dennoch offenbar die ungeheuren Geschwindigkeiten, welche die Erklärung nach Dopplers Prinzip erfordern würde, keineswegs anzunehmen.

Von all dem Licht, das Chromosphäre und Protuberanzen uns zusenden, mag also ein Teil von der Eigenstrahlung der daselbst befindlichen Gase herrühren — ein anderer, wahrscheinlich sehr bedeutender Teil ist als gebrochenes Photosphärenlicht zu deuten, das auf eine Weise zu uns kommt, welche uns an Töplers bekannte „Schlierenmethode" erinnert. Es giebt aber einen Unterschied. In der Schlierenmethode trägt jede der Quelle entsprungene Strahlenart dazu bei, die Ungleichmässigkeiten des Mediums hervortreten zu lassen; man sieht fast nie Farbenerscheinungen, da im Vergleich zu der mittleren Abweichung der Strahlen die Dispersion bei den meisten Medien gering ist. Die Chromosphärengase dagegen sind in eigentümlichen Farben sichtbar, weil sie für spezielle Lichtarten einen besonders grossen oder einen besonders kleinen Brechungsindex haben; in diesem Falle ist eben die Dispersion gross gegen die mittlere Abweichung der Strahlen.

Lassen wir momentan die eigene Strahlung der Gase in der Sonnenatmosphäre ausser Betracht, so werden bei radialer Lage des Spaltes diejenigen Chromosphärenlinien am längsten und am hellsten sein, die den Absorptionslinien, für welche die Erscheinung der anomalen Dispersion am kräftigsten hervortritt, entsprechen. Wir bemerkten schon, dass die beiden Natriumlinien die Fähigkeit, diese Phänomene hervorzurufen, in sehr verschiedenem Grade besitzen. Setzen wir voraus, — was gewiss nicht zu kühn ist — dass auch die Linien des Wasserstoffes

1) Siehe Lockyer, l. c. S. 120.

und der andern Chromosphärengase ähnliche individuelle Unterschiede darbieten, so wissen wir gleich, weshalb im Chromosphärenspektrum einige Linien eines Elementes lang, andere kurz sind, und weshalb daselbst die Intensitäten der Linien eines nämlichen Elementes sich oft so durchaus anders zu einander verhalten als im Emissionsspektrum oder im Fraunhoferschen Absorptionsspektrum. Freilich wird man die anomale Dispersion einer grossen Anzahl Substanzen gründlich untersuchen müssen, um bestimmen zu können, inwiefern unsere Betrachtung im stande sei, die schon bekannten oder noch aufzufindenden Einzelheiten im Chromosphärenspektrum zu deuten. So wird es sich z. B. zeigen müssen, ob jene Elemente, deren Linien im Chromosphärenlicht am meisten hervortreten, auch in der That besonders starke anomale Dispersion veranlassen — ein ausgedehntes, noch kaum betretenes Feld der experimentellen Forschung.

Was nun aber die Eigenstrahlung der Gase anbelangt, so besitzen wir in Lockyers geistreich erfundener Experimentalmethode der langen und kurzen Linien ein vorzügliches Hilfsmittel, um den Einfluss der Temperatur (und der Dichte?) des strahlenden Stoffes auf dessen Emissionsspektrum zu untersuchen. Also erscheint es möglich, auf experimentellem Wege zu entscheiden, ob die Chromospärenlinien wesentlich entweder der Eigenstrahlung der dort befindlichen Gase oder der anomalen Brechung des aus tieferen Schichten strahlenden Lichtes zuzuschreiben sind.

Diese Entscheidung wird sich selbstverständlich gründen müssen auf die genaueste Kenntnis der Beschaffenheit, die jede Spektrallinie der Sonnenatmosphäre in den verschiedensten Fällen aufweist. Namentlich bieten die totalen Sonnenfinsternisse die beste Gelegenheit dar, das Chromosphärenspektrum, von dem blendenden Photosphärenlicht nur wenig gestört, bis in die Einzelheiten zu beobachten. Vor allen Dingen sind es gute, mit Apparaten von hoher Dispersion erhaltene Spektrogramme, von denen man Aufschluss erhoffen darf.

Auch die viel erwähnte „umkehrende Schicht", die bei totalen Sonnenfinsternissen den sogenannten „flash" veranlasst, wollen wir von dem Gesichtspunkte der anomalen Dispersion aus betrachten. Wir bemerkten schon, dass die Dispersionstheorie allen Wellen, deren Perioden in der Nähe jeder charakteristischen Schwingungsperiode eines Stoffes liegt, in gewissem Masse anomale Brechung zuschreibt; die Anomalie kann aber gering sein. Stellte man in solchem Falle einen Versuch an gleich jenem für den Natriumdampf beschriebenen, so würden die Lichtpfeile kurz und schmal, dessen ungeachtet aber von grosser Intensität sein. Befinden sich also solche Stoffe in der Sonnenatmosphäre, sogar bis in grosser Entfernung von der Photosphäre, und sind die Ungleichmässigkeiten in ihrer Dichte von derselben Grössenordnung wie bei Natrium, Wasserstoff u. s. w. vorausgesetzt worden, so wird die anomale Strahlenbrechung das Vorhandensein dieser Stoffe dennoch nur ganz nahe am Sonnenrande offenbaren, und bloss während kurzer Momente am Anfang und am Ende der Totalität einer Sonnenfinsternis.

Dass die Linien der „flash" sehr hell sein sollten, geht aus unserer Anschauung unmittelbar hervor; denn das beobachtete Licht rührt ja nicht wesentlich von der Emission der Gase her, sondern ist ein Teil des starken Photosphärenlichtes; es kommt der Eigenstrahlung der Gase in der Wellenlänge bloss sehr nahe. Grosse Dichte brauchen die Gase nahe am Rande der Sonnenscheibe also auch nicht zu besitzen; ebensowenig braucht ihre Anwesenheit auf eine sehr dünne umkehrende Schicht beschränkt zu sein — eine der sonderbarsten Vorstellungen, zu denen die Sonnentheorie führte und die man bekanntlich auf mehreren Wegen zu umgehen versucht hat.

Das Licht der Chromosphären- und der Flashlinien mag zu beiden Seiten der entsprechenden Fraunhoferschen Linien symmetrisch verteilt sein, so dass man Koinzidenz mit ihnen wahrzunehmen meint, an manchen Stellen des Sonnenrandes aber muss auch der Fall eintreten, dass die hellen Linien gegen die Absorptionslinien verschoben zu sein scheinen. Denn je nach der Dichtigkeitsverteilung der Dämpfe werden bald namentlich die Strahlen mit sehr grossem Index (auf der roten Seite der Absorptionslinien), bald wieder namentlich solche mit sehr kleinem Index (auf der violetten Seite) sich zu uns hinbiegen.

Weil nun selbstverständlich im grossen und ganzen die Dichtigkeit der Sonnengase eher ab- als zunehmen wird, wenn man sich weiter vom Mittelpunkt entfernt, so lässt sich erwarten (man sehe unsere Bemerkung zu Fig. 4, S. 352 oben), dass eine Verschiebung der hellen Linien gegen die Fraunhoferschen Linien nach der Seite der grösseren Wellenlängen etwas häufiger vorkommen wird als nach der Seite der kleineren Wellenlängen hin.

Diese Einzelheiten werden wohl erst in den mittels Spaltspektrographen hoher Dispersion erhaltenen Photogrammen klar hervortreten, und es lässt sich voraussehen, dass in manchen Chromosphärenlinien sich ein dunkler Kern vorfinden wird.[1])

1) In einigen gelegentlich der Sonnenfinsternis von 1898 erhaltenen Spektrogrammen hat neuerdings W. Campbell Linienverschiebungen und andere Eigentümlichkeiten aufge-

Wir vertreten also hinsichtlich desjenigen Teiles der Sonnenatmospäre, der ausserhalb der Photosphäre (oder der kritischen Sphäre) sich befindet, nachfolgende Ansicht.

Die verschiedenen Elemente, auf deren Anwesenheit in der Sonnenatmosphäre man aus Spektralbeobachtungen geschlossen, finden sich in derselben viel weiter verbreitet vor als man, sich auf die Form der Lichterscheinungen stützend, anzunehmen geneigt war; sie können bis auf grosse Entfernungen ausserhalb der Photosphäre überall vorhanden, und dennoch nur an einigen Stellen sichtbar sein; ihre Eigenstrahlung trägt (Helium und Coronium vielleicht ausgenommen) relativ wenig zu ihrer Sichtbarkeit bei, die Entfernungen, in welchen man das charakteristische Licht dieser Stoffe ausserhalb des Sonnenrandes zu sehen glaubt, werden hauptsächlich durch ihre lokalen Dichtigkeitsdifferenzen mit Berücksichtigung ihrer Fähigkeit, anomale Dispersion zu verursachen, bestimmt.

Zum Schluss mögen noch einige Bemerkungen über Sonnenflecken folgen. Im Fleckenspektrum zeigen sich viele der Fraunhoferschen Linien stark verbreitert (siehe z. B. die Figur in Lockyer, „Chemistry of the Sun", S. 100). Man hat dies der Anwesenheit verdichteter absorbierender Gase zugeschrieben und gemeint, die breiten Bänder seien ausschliesslich durch Absorption verursacht. Hier drängt sich nun die Frage auf, ob nicht die zweite Folgerung, die wir aus den Brechungserscheinungen in einer Natriumflamme ableiteten (S. 351), hierauf Anwendung finden könnte.

Setzen wir voraus, einem Flecken entspreche immer ein Teil des Sonnenkörpers, wo im Zusammenhang mit Wirbelbewegungen (Faye) oder mit starken vertikalen Strömungen, die Materie an verschiedenen Orten grosse Dichtigkeitsunterschiede aufweist. Meistens denkt man sich den Sitz dieser Erscheinung etwa im Niveau der Photosphäre, wenigstens nicht weit über oder unter derselben. Ist nun der von der Kugelfläche *ZZ* (Fig. 4 oder 5) umschlossene Körper wirklich von der sie umgebenden Atmosphäre scharf unterschieden, insofern seine Oberfläche ziemlich gleichmässig nach allen Seiten hin ein starkes Licht mit einem kontinuierlichen Spektrum ausstrahlt, während die Atmosphäre nur schwach leuchtet, so ist man nicht im stande, aus der blossen Annahme von normaler und anomaler Strahlenbrechung in den verschiedenen Teilen des Fleckens, seine Dunkelheit und die Verbreiterung der Fraunhoferschen Linien zu erklären. Man ist dann gezwungen, diese Erscheinungen auf Temperaturdifferenzen, geringeres Ausstrahlungsvermögen, Kondensation, stärkere Absorption u. s. w. zurückzuführen, wie auch gewöhnlich geschehen.

Anders gestaltet sich aber die Sache, wenn wir uns auf den Standpunkt der Schmidtschen Sonnentheorie stellen. Nach dieser soll die scheinbare Oberfläche der Photosphäre nicht als die Grenze eines Körpers aufgefasst werden, sondern ist nur eine kritische Sphäre, definiert durch die Eigenschaft, dass ihr Halbmesser dem Krümmungsradius horizontaler, durch einen Punkt ihrer Oberfläche gehender Lichtstrahlen gleich ist. Von einer Diskontinuität in der Stoffverteilung zu beiden Seiten dieser Kugelfläche ist durchaus keine Rede. Auch innerhalb der kritischen Sphäre nimmt die mittlere Dichtigkeit der Materie und ihr Emissionsvermögen noch allmählich zu, und bloss in grosser Tiefe braucht der Stoff derart beschaffen zu sein, dass er Licht mit einem kontinuierlichen Spektrum ausstrahlt.

In der Figur 5 sei der Kreis *ZZ* der Durchschnitt der kritischen Sphäre mit der Ekliptik; die Erde befinde sich in der Richtung *MA*. Ein in der Mitte der Sonnenscheibe sichtbarer Flecken würde sich in *P* auf die kritische Sphäre projizieren.

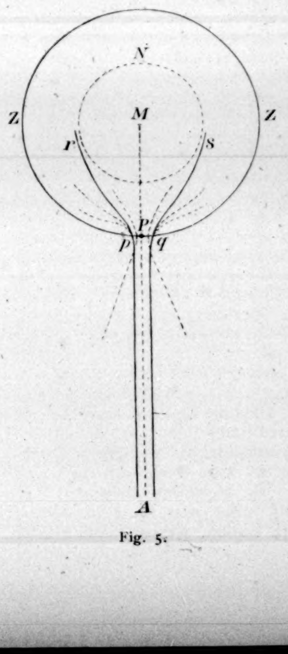


Fig. 5.

funden (Astroph. Journ. XI Nr. 3, April 1900), deren Erklärung sich aus den obigen Betrachtungen unmittelbar zu ergeben scheint.

Auch die mir erst vor kurzem bekannt gewordenen Beobachtungen Mascaris (Sullo allargamento e stoppiamento delle righe dello spettro solare. Mem. Spettr. 27, 83—89. Ref.: Naturw. Rundsch. 13, 618) schliessen sich dem von unserer Theorie geforderten Verhalten der Chromosphärenlinien auf treffliche Weise an.

Wir setzen nun voraus, die Dichtigkeit nehme von dem Centrum $P$ des Fleckens aus nach allen Seiten hin zu, so dass sich daselbst eine nahezu cylinderförmige konzentrische Schichtung mit der Gesichtslinie als Achse ausgebildet hat. Lichtstrahlen $pA$ und $qA$, welche die normale Strahlenbrechung erleiden, werden, wie leicht einzusehen, im Sonnenkörper z. B. die Wege $rp$, $sq$ zurückgelegt haben können, und sind also zwar nicht aus dem am intensivsten leuchtenden Centrum, aber doch aus ziemlich stark strahlenden Teilen der Sonne hervorgegangen, sie veranlassen das weisse Licht von Kern und Halbschatten, die sich zwar dunkel von den übrigen Teilen der Sonnenscheibe abheben, jedoch immerhin eine ziemlich grosse Helligkeit besitzen.

Kleine Unregelmässigkeiten in der vorwiegend konzentrischen Dichtigkeitsverteilung um $P$ herum lassen es möglich erscheinen, dass parallel zu $PA$ auch Strahlen, die anderen Bahnen gefolgt sind, austreten; dieselben werden jedoch nicht wesentlich ausserhalb des Körperwinkels $rPs$ liegen können.

Strahlen aber, welche anomale Dispersion erlitten haben, und dennoch parallel mit $PA$ unser Auge erreichen, müssen aus einer viel grösseren Mannigfaltigkeit von Richtungen hergekommen sein, brauchen also nicht in so grosser Anzahl von dem kräftig leuchtenden centralen Teil der Sonne herzurühren, und sind deshalb weniger intensiv.

Wir können uns den Vorgang auch folgendermassen veranschaulichen:

Von all dem Licht, das dem am intensivsten leuchtenden Sonnenkern (zu dem wir z. B. alles, was sich innerhalb der Kugel $N$ befindet, rechnen wollen) entstrahlt, und durch die Umgebung von $P$ hinaustritt, werden infolge der lokalen Dichtigkeitsunterschiede diejenigen Strahlenarten, deren Brechungsindex abnorm gross oder abnorm klein ist, in höherem Masse nach allen Richtungen hin zerstreut, als die normal gebrochenen. Daraus geht hervor, dass ein Beobachter in $A$, nach $P$ hinblickend, von jenem abnorm gebrochenen Licht nur einen geringeren Teil als von dem übrigen Licht mit seinem Instrument auffängt. Strahlen, welche in der Sonne anomale Dispersion erlitten haben, müssen also im Fleckenspektrum teilweise fehlen: die Fraunhoferschen Linien erscheinen verbreitert.

Während unsere Betrachtungen über den Ursprung des Chromosphärenlichtes von jeder Theorie über die Beschaffenheit der Photosphäre ganz unabhängig waren, stützt sich die hier kurz geschilderte Erklärung der Fleckenphänomene zum Teil auf die Schmidtsche Theorie; sie steht oder fällt mit dieser.

Sollte eine weitere Untersuchung zeigen, dass die Linien, welche sich in den Fleckenspektren öfters verbreitert zeigen, thatsächlich eben diejenigen sind, welche starke anomale Dispersion verursachen, so wäre diese Erfahrung ein Beleg für die Schmidtsche Sonnentheorie.

Übrigens wird man gleich einsehen, dass auch, wo es sich um die Erklärung gewisser, in den Fraunhoferschen Linien nahe am Sonnenrande und in den Fackeln und Flecken beobachteter Unregelmässigkeiten [1]) handelt, das Prinzip der anomalen Strahlenbrechung dem Dopplerschen an die Seite gestellt werden muss. Denn es ist möglich, viele dieser Phänomene als Refraktionserscheinungen zu deuten, während man bis jetzt in der Annahme, dass die Sonnengase sich mit ungeheuren Geschwindigkeiten bewegen, den einzigen Erklärungsgrund zu besitzen glaubte.

Aus obigen Erwägungen scheint sich zu ergeben, dass viele Sonnenphänomene durch die anomale Dispersion in einfacher Weise erklärt werden können. Wie dem aber auch sei, so wird jedenfalls jede künftige Sonnentheorie den Gesetzen der Strahlenbrechung Rechnung zu tragen haben.

1) Man vergleiche z. B. die Abbildungen in Lockyer, „Chemistry of the Sun" S. 157 u. 210; Scheiner, „Die Spektralanalyse der Gestirne" S. 349.

Utrecht, Januar 1901.

(Eingegangen 22. Januar 1901.)

## Antwort auf einige Bemerkungen von Herrn Ernst Dorn, betitelt: Versuch einer Erklärung der Beobachtungen von Herrn Emilio Villari über Entwickelung von elektrischen Ladungen durch „Röntgenluft." [1])

Von Emilio Villari.

Im vergangenen Jahre veröffentlichte ich in den Rendiconti della R. Acc. di Napoli [2]) einen kurzen Aufsatz, dessen Inhalt in ausführlicher Weise in den Rend. d. Acc. dei Lincei [3]) und auszugsweise in der Physikalischen Zeitschrift [4]) wiedergegeben ist, in welchem ich unter anderem sagte, dass die X-durchstrahlte Luft, je nachdem sie kräftig oder leicht über metallische Oberflächen reibt oder streicht, diese Oberflächen energisch positiv oder negativ ladet; sie selbst zeigt sich unelektrisch oder mit einer schwachen Ladung von derselben Art, wie die metallischen Oberflächen. Um diese Thatsachen zu erklären, sagte ich mit allem möglichen Vorbehalt, dass die den metallischen Oberflächen

1) Diese Zeitschr. **2**, 238—239, 1901.
2) Rend. R. Accademia di Napoli.
3) Rend. R. Acc. d. Lincei Maggio 1900, Roma.
4) Diese Zeitschr. **2**, 178, 1900.

entgegengesetzten Elektrizitäten, die man in der X-durchstrahlten Luft finden müsste, daselbst nicht wahrgenommen werden konnten, — vielleicht weil sie sich bei Verwandlung der X-durchstrahlten Luft in gewöhnliche Luft aufgezehrt hatten oder dabei verausgabt worden waren. Ich wagte diese Vermutung, nachdem ich in früheren Arbeiten schon gezeigt hatte, dass die X-durchstrahlte Luft auf Kosten der Elektrizität wieder zu gewöhnlicher Luft werden kann. Prof. Dorn in Halle unterwirft die Resultate meiner Untersuchungen einer Prüfung in einer kurzen Note, die in dieser Zeitschrift veröffentlicht ist und schlägt eine von der meinigen abweichende Erklärung vor. Er geht von den kürzlich erfolgten Untersuchungen des englischen Physikers Zeleny aus, welcher in einer Arbeit behauptet, dass er in den von ihm untersuchten, durch X-Strahlen ionisierten Gasen gefunden hat, dass die negativen Ionen beweglicher als die positiven sind, und dass sie deshalb weniger Masse als letztere haben müssten. In der feuchten Kohlensäure bewahrheitet sich das Gegenteil, und daher müssen ihre negativen Ionen träger und von grösserer Masse sein als die positiven wären. Auf diesen Massenunterschied stützt Prof. Dorn seine Erklärung, die sich in Kürze hier nicht so leicht wiedergeben lässt.

Er schickte mir seinen Aufsatz, begleitet von einem liebenswürdigen Brief, in dem er folgendes schreibt: „Vielleicht würdigen Sie die Sache der Überlegung, möglichenfalls stellen Sie Versuche an, welche die Erklärung bestätigen oder widerlegen. Die Resultate von Zeleny als richtig vorausgesetzt, würde z. B. feuchte Kohlensäure die umgekehrte Elektrizität erzeugen müssen als die anderen Gase, da bei feuchter $CO_2$ das negative Ion mehr Masse hat."

Ich habe innerhalb der bescheidenen Mittel, über die ich verfüge, meine früheren Versuche sehr gern wieder aufgenommen, um das Verhalten der Luft und der feuchten Kohlensäure einander gegenüber zu stellen. Ich stellte Kohlensäure her, indem ich die im Handel befindliche Salzsäure auf zerstampften Marmor wirken liess und füllte etwa fünfzig Liter davon in Gummisäcke. Bei starkem Druck auf die Säcke trieb ich das durch X-Strahlen aktiv gemachte Gas[1]) durch eine gut isolierte Zinkröhre (30×2,7 cm), in der sich eine Rolle aus einem Eisenblatt (20×2,7 cm) befand, und welche mit einem Quadranten-Elektrometer in Verbindung stand; dieses wurde bei verschiedenen Versuchen durch die negative Ladung um 120 bis 170 mm abgelenkt. Nahm ich nun die identische Messung mit feuchter röntgenisierter Luft vor, so wurde das Elektrometer gleichfalls durch negative Ladung abgelenkt, aber um 240 bis 325 mm. Hier haben also die durch das Durchstreichen von Kohlensäure und von Luft entwickelten Ladungen gleiches Vorzeichen, aber verschiedene Intensität.

Zur Wiederholung ähnlicher Versuche trieb ich X-durchstrahlte Kohlensäure durch einen Filter, bestehend aus einer Messingröhre (10×2,5 cm), die durch 60 dichte Siebplatten aus Aluminium geschlossen, gut isoliert und an das Elektrometer angeschlossen war; dieses wurde durch positive Ladung um + 20 bis + 30 mm abgelenkt. Trieb ich die X-durchstrahlte Luft mit Hilfe des Sackes hindurch, so wurde das Elektrometer auch durch positive Ladung abgelenkt, aber um ungefähr + 200 mm.

Trieb ich schliesslich X-durchstrahlte Kohlensäure durch eine Rolle aus dichtem Messingnetzwerk, so erzielte ich schwache und unsichere Ladungen, während ich mit Luft starke positive Ladungen erhielt.

Aus Vorstehendem lässt sich entnehmen, dass die Ladungen, die auf metallischen Oberflächen durch das Darüberstreichen von Kohlensäure entwickelt werden, schwächer, aber gleichen Vorzeichens wie die durch Luft hervorgerufenen sind. Mir scheinen diese Resultate die von Herrn Prof. Dorn vorgeschlagene Erklärung nicht zu bestätigen, da er in seinem Briefe schreibt, dass die durch Kohlensäure entwickelten Ladungen umgekehrten Vorzeichens sein müssten als die durch Luft erzeugten, was sich nicht bestätigt hat. Doch scheint mir der grosse Unterschied der Spannung zwischen den durch Kohlensäure und den durch Luft entwickelten Ladungen besondere Beachtung zu verdienen; ein Unterschied, auf den Prof. Dorn im Anschluss an die oben dargelegten Ideen hinweist. Was die Erklärung der früher von mir beobachteten Thatsachen anbelangt, so kann ich für jetzt wenigstens nur wieder meine frühere Erklärung in Vorschlag bringen, um so mehr, als sie auch zu erklären vermag, warum die X-durchstrahlte Luft, wenn sie über metallische Oberflächen streicht, wieder zu gewöhnlicher Luft wird. Ich wiederhole aber, was ich schon früher gesagt habe, nämlich dass ich diese Erklärung nur mit dem grössten Vorbehalt, sozusagen als Versuch zum näheren Verständnis der Frage, abgeben möchte.

(Eingegangen 17. Febr. 1901.)

(Aus dem Italienischen übersetzt von H. Rhumbler.)

1) Für weitergehende Erklärungen siehe meinen Aufsatz in Nr. 12 dieser Zeitschr. (2, 178, 1900).

## Über die Einwirkung der Becquerel- und der Röntgenstrahlen auf das Auge.

Von F. Himstedt und W. A. Nagel.[1])

Die von Giesel gemachte Entdeckung, dass die Becquerelstrahlen im Auge Lichtempfindung auszulösen vermögen, bildete für uns den Ausgangspunkt einer Versuchsreihe, in der wir erstens das Wesen dieser Reizwirkung näher zu analysieren suchten, zweitens die bekannte Reizwirkung der Röntgenstrahlen und der ultravioletten Strahlen zum Vergleich heranzogen, und drittens prüften, ob diese Strahlenarten ebenso, wie die gewöhnlichen sichtbaren Lichtstrahlen eine objektiv, durch das Entstehen elektrischer Ströme, nachweisbare Erregung der lebenden Tiernetzhaut erzeugten. Die Präzision, mit der diese „Aktionsströme" ausgelöst und gemessen werden konnten, veranlasste uns sodann, eine genauere messende Untersuchung über die Stärke der Erregungswirkung anzustellen, welche Strahlen verschiedener Wellenlänge (aus dem sichtbaren Spektrum) auf das lebende Froschauge ausüben; hierbei ergab sich eine vom physiologisch-optischen Standpunkte interessante Fragestellung, die unten zu erwähnen sein wird.

Sowohl das Ultraviolett, wie Röntgen- und Becquerelstrahlen werden bei den zur Zeit verfügbaren Intensitäten nur vom gut dunkeladaptierten Auge wahrgenommen, wirken also höchst wahrscheinlich ausschliesslich auf die Stäbchen der Netzhaut; ob die Zapfen durch diese Strahlen thatsächlich gar nicht erregt werden, liess sich bis jetzt nicht einwandfrei feststellen, da es selbst bei Röntgenstrahlen sehr schwer ist, ein Strahlenbündel nur auf dem kleinen stäbchenfreien Bezirk der Fovea centralis zu lenken; bei Becquerelstrahlen und Ultraviolett kommt hinzu, dass sie in den durchsichtigen Medien des Auges, Linse und Glaskörper, Fluoreszenz erregen und somit eine ganz diffuse Lichtquelle im Auge selbst schaffen. Diese Fluoreszenz ist an den betreffenden Teilen frischer Tieraugen leicht zu erkennen. Sie erklärt die vollkommen diffuse Erhellung des Gesichtsfeldes durch jene Strahlen und die Unmöglichkeit, mittelst ihrer eine cirkumskripte Reizung der Netzhaut zu erzielen; weshalb auch die Frage offen bleiben muss, ob Becquerelstrahlen und Ultraviolett die Netzhautelemente selbst erregen können.

Diese Frage bleibt selbst bezüglich der Röntgenstrahlen unentschieden. Diese erregen zwar in Linse und Glaskörper keine nachweisliche Fluoreszenz, weder bei Menschen- noch bei Tieraugen. Infolge davon ist cirkumskripte Netzhautreizung durch sie möglich (wie schon Röntgen und Dorn gefunden hatten), indem man die Strahlen durch enge Bleidiaphragmen ins Auge treten lässt. Die Möglichkeit, dass die Röntgenstrahlen auf dem Umwege über Fluoreszenzerregung in der Netzhaut wirken (also nicht direkt durch Reizung der Stäbchen oder Zapfen), ist um so mehr festzuhalten, als wir an isolierten Tiernetzhäuten eine allerdings äusserst schwache Fluoreszenz wahrnahmen.

Die Erregung des Froschauges durch Röntgenstrahlen, wie auch durch Ultraviolett liess sich mittelst der Aktionsströme nachweisen. Das aus dem Kopf des getöteten Frosches möglichst rein herauspräparierte und im Dunkeln gehaltene Auge wurde durch unpolarisierbare Elektroden an seinem vorderen und hinteren Pol zu einem d'Arsonval-Galvanometer abgeleitet, unter Einschaltung eines beträchtlichen Widerstandes, der Ruhestrom (die elektromotorische Kraft betrug zwischen 0,0056 und 0,0172 Volt) wurde kompensiert. Es war dafür gesorgt, dass beim Betrieb der Röntgenröhre weder Licht noch elektrische Einflüsse das Präparat treffen konnten.

Bei kurzer Einwirkung der Röntgenstrahlen trat, genau wie beim Einfall sichtbarer Strahlen in das Froschauge, Vergrösserung der elektromotorischen Kraft des Präparates ein, Anwachsen bis zu einer bestimmten Höhe und abermalige Vergrösserung bei Abstellen der Röhre, dann rasches Absinken.

Beim helladaptierten Auge blieben Röntgenstrahlen unwirksam.

Wir untersuchten ferner ebenfalls an ausgeschnittenen unverletzten Froschaugen die Reizwirkung der verschiedenen Regionen eines Dispersionsspektrums. Als Lichtquelle diente ein Triplexgasbrenner. Das Auge befand sich in einem Dunkelkasten, mit der Hornhautseite dicht vor einem schmalen Spalt in der Kastenwand, auf welchen die einzelnen Spektrallichter gelenkt werden konnten. Zum Zweck der Reizung wurde der vorher verdeckt gehaltene Spalt auf 10 Sek. geöffnet, und die Grösse des hierdurch ausgelösten Aktionsstromes gemessen, genau wie bei den Versuchen mit Röntgenstrahlen. Die eine Elektrode war am hinteren Pol des Auges, die andere am Rande der Hornhaut angelegt (um die Pupille frei zu lassen). In der Regel begannen wir die Versuche mit dem einen Ende des Spektrums, gingen dann successive zum anderen Ende, und nun, um die Ermüdungswirkung auszuschalten, wieder zurück zum Ausgangspunkt, unter Berührung der gleichen Punkte. Aus den korrespondieren-

1) Nach F. Himstedt und W. A. Nagel, Über die Einwirkung der Becquerel- und der Röntgenstrahlen auf das Auge. Berichte der naturforsch. Gesellsch. Freiburg i. Br. 11, 139—152. Januar 1901 und F. Himstedt und W. A. Nagel, Die Verteilung der Reizwerte für die Froschnetzhaut im Dispersionsspektrum des Gaslichtes, mittelst der Aktionsströme untersucht. Ibidem, S. 153—162, 1901, für die Physikalische Zeitschrift bearbeitet von W. A. Nagel.

den Messungen auf dem Hin- und Rückweg wurde der Mittelwert berechnet, der nun ein relatives Mass für den Reizwert des betreffenden homogenen Lichtes gab.

Die Verteilung der Reizwerte im Spektrum fanden wir nun verschieden, je nachdem am hell- oder am dunkeladaptierten Froschauge untersucht wurde. Für rote Lichter war allerdings der Reizwert in beiden Fällen fast der gleiche, die Zunahme nach dem Gelb zu war aber für das Dunkelauge weit beträchtlicher als für das Hellauge. Für letzteres war das Maximum der Reizwirkung mit dem Gelb der Linie *D* erreicht, von da ab erfolgt ein erst schnelleres, dann langsameres Absinken in Grün, Blau und Violett.

Beim Dunkelauge steigen die Reizwerte dagegen noch jenseits der Natriumlinie beträchtlich und erreichen ihr Maximum im gelblichen Grün nahe der Thalliumlinie (bei 544 $\mu\mu$), um so deutlicher, je mehr man durch geringe Helligkeit der Reizlichter dafür sorgt, dass die Adaptation nicht gestört wird.

Dies Ergebnis ist insofern bemerkenswert, als sich hier eine a priori nicht zu erwartende vollkommene Übereinstimmung ergiebt zwischen den Reizwerten für die hell- und dunkeladaptierte Froschnetzhaut einerseits und den Helligkeitswerten für das hell- und dunkeladaptierte Menschenauge andererseits. Das helladaptierte normale Menschenauge sieht das Helligkeitsmaximum im reinen Gelb, oder etwas gegen Orange hin, das dunkeladaptirte dagegen sieht namentlich im lichtschwachen Spektrum das Maximum im gelblichen Grün, etwa bei 544 $\mu\mu$.

Wir sehen in dem Verhalten des Froschauges einen Hinweis darauf, dass bei ihm eine ähnliche Arbeitsteilung zwischen Zapfen und Stäbchen vorliegt, wie im menschlichen Auge, wo die Zapfen vorzugsweise bei hellerer Beleuchtung, die Stäbchen in der Dämmerung zum Sehen dienen, letztere also eines erheblichen Masses von Dunkeladaptation fähig sein müssen.

(Eingegangen 23. Februar 1901.)

## Ein Satz über Fouriersche Reihen und seine Anwendung in der Geophysik.

Von A. Nippoldt jun.

Setzt man das Intervall $2\pi$, in dem die Fouriersche Reihe jeden möglichen Wert annimmt, gleich der natürlichen Periode [1]) eines geophysikalischen Elementes, so ist dies von allen üblichen Darstellungen des periodischen Vorgangs die sinngemässeste, da sowohl die darzustellende als die dargestellte Funktion die Periodizität gemeinsam haben. Hierzu kommt, dass unter bestimmten Verhältnissen die einzelnen Wellen eine reale Bedeutung erlangen, z. B. dann, wenn der periodische Vorgang stehenden Schwingungen zuzuschreiben ist, wie bei der täglichen Variation des Luftdruckes. Aber auch für den Fall, dass die Wellen höherer Ordnung zunächst nur Rechengrössen sein sollten, können die Reihen dennoch den dargestellten Vorgang nach seinen Ursachen hin physikalisch analysieren, allerdings erst unter Zuhilfenahme von Verfahren, die ganz ausserhalb der Methode liegen, nämlich durch Vergleich der Koeffizienten für verschiedene Zeiten und Orte, wo die verschiedenen Ursachen in entgegengesetztem Sinne wirken.

Durch solche Hilfsmittel ist es dem Verfasser gelungen, darzuthun, dass jenes Feld, welchem nach Schuster-Bezold [1]) die täglichen Variationen des Erdmagnetismus zuzuschreiben sind, aus zwei Teilen zusammengesetzt ist, wovon der eine dem „solaren", der andere dem „terrestrischen" Anteil der Witterung entspricht. Beide Anteile rufen eine Periode von 24 Stunden hervor, so dass durch die Fouriersche Darstellung der solare Anteil durch das erste Glied, der terrestrische durch die Summe der übrigen gegeben ist. Der solare Anteil stellt also eine stehende Schwingung dar, der terrestrische ist durch die Glieder von der 2. Ordnung an rein rechnerisch dargestellt, indem die einzelnen Wellen weiter keine selbständige Existenz führen.

Wenn man also die Reihendarstellung mit der nötigen Vorsicht und nur da anwendet, wo sie berechtigt ist, [2]) darf man in ihr ein wertvolles Hilfsmittel zur Ergründung der Ursachen der periodischen Erscheinungen der Geophysik sehen. Es sei daher in folgendem ein ganz einfacher Satz besprochen, der aber von einer nicht geringen Tragweite, zum mindesten für die Geophysik, sein dürfte.

Es sei $f(t)$ eine Funktion, welche die Entwicklung gestattet

$$f(t) = a_0 + \Sigma p_n \cos nt + \Sigma q_n \sin nt$$

Es sei $f(t)$ ferner eine lineare Funktion der unabhängigen Variabelen $x_1, x_2, x_3 \dots x_m$, wo die $x_m$ ihrerseits die Entwicklung zulassen.

$$x_m = \varphi_m(t) = (a_0)_m + \Sigma (p_n)_m \cos nt + \Sigma (q_n)_m \sin nt;$$

welche Funktion der $(p_n)_m$, $(q_n)_m$ sind dann die Koeffizienten $p_n$, $q_n$?

Da die $\varphi_m(t)$ voneinander unabhängig sind, setzt sich $f(t)$ aus dem Einfluss eines jeden additiv zusammen, so dass

$$f(t) = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots c_m x_m = \sum_1^m c_m x_m.$$

1) d. h. im strengsten Sinne gleich der mit Schusters Periodogramm ermittelten. (Cambridge, Phil. Trans. **18**, 107—135, 1899. Ein Referat darüber wird demnächst in dieser Zeitschrift erscheinen.)

1) Diese Zeitschrift **2**, 123 u. ff. 1900.

2) Vgl. A. Nippoldt, Zeitschr. f. math. u. naturw. Unterricht **29**, 401, 1898.

Es ist also

$$a_0 + \Sigma p_n \cos nt + \Sigma q_n \sin nt = \sum_1^m c_m (a_0)_m$$

$$+ \sum_1^m \Sigma (p_n)_m \cos nt + \sum_1^m \Sigma (q_n)_m \sin nt.$$

Also

$$a_0 = \sum_1^m c_m (a_n)_m;\ p_n = \sum_1^m c_m (p_n)_m;\ q_n = \sum_1^m c_m (q_n)_m.$$

Dies Ergebnis erscheint so selbstverständlich, dass der Satz — er sei der Einfachheit halber kurz „Koeffizientensatz" genannt — in der That denn auch für einige Spezialfälle abgeleitet und angewendet worden ist; aber seine allgemeine Brauchbarkeit ist noch nicht erkannt worden.

$a_0$ bedeutet bekanntlich den Mittelwert, um den die Schwingung stattfindet, während $p_n$ und $q_n$ die halbe maximale Amplitude der $n$ten Welle bestimmen. $c_m$ ist eine Funktion von $x_1, x_2 \ldots . x_{m-1}$. Der Satz besagt also zunächst: Die Amplitude der $n$ten erzeugten Welle hängt nur von der $n$ten erzeugenden Welle ab, und zwar so, wie der Mittelwert der erzeugten Funktion von den Mittelwerten der erzeugenden abhängt.

Die $x_m$ sind das, was Verfasser früher einmal als „primäre Elemente" definierte, während $f(t)$ ein „sekundäres Element" vorstellt[1]). Es besagt also der Satz, dass man die (vielleicht der Beobachtung unzugängliche) Variation des sekundären Elementes aus denen der primären berechnen kann, indem die Variation des sekundären Elementes von den Variationen der primären so abhängt, wie die absoluten Werte, um welche die Schwingungen stattfinden, voneinander abhängen.

Es seien nunmehr die verschiedenen Möglichkeiten der Anwendung besprochen.

Rein rechnerisch. Hat man alle in Betracht kommenden $x_m$ harmonisch analysiert, so erspart der Satz die Analyse von $f(t)$. Für diese Zwecke hat denn auch schon auf Anregung von E. Schering hin eine Anwendung des Satzes stattgefunden und zwar durch die Herren Huff, Meldau, Garthe und Kind, um aus den Koeffizienten der Horizontalintensität und Deklination des Erdmagnetismus die entsprechenden Grössen der rechtwinkligen Komponenten zu ermitteln. Die Variationsgleichung für die Nord-Südkomponente lautet

$$\triangle X = \triangle H \cos \delta - H \sin \delta \triangle \delta \sin 1'.$$

Nach dem Koeffizientensatz ist dann einfach

$$(p_n)_X = (p_n)_H \cos \delta - (p_n)_\delta H \sin \delta \sin 1',$$

was recht deutlich illustriert, wie die Koeffizienten auf dieselbe Art voneinander abhängen, wie die absoluten Werte, d. i. in diesem Falle, wie die $X$ von $H$ und $\delta$.

1) Theor. Grundlagen der Wetterprognose. Gaea **34**. 355, 1898.

Besonders wichtig wird diese Art der Anwendung, wenn die Variationen des sekundären Elementes nicht beobachtbar sind, wofür ein Beispiel weiter unten folgt.

Physikalisch analysierend. Ist es gelungen, den Einzelwellen der erzeugenden Funktionen eine physikalische Natur nachzuweisen, so überträgt der Satz sie auf die Welle gleicher Ordnung der erzeugten. So hat der Verfasser nachweisen können, dass die tägliche Variation der erdmagnetischen Deklination aus einem solaren und einem terrestrischen Anteil zusammengesetzt ist. Da nun

$$\triangle \delta = \frac{c}{H} (\cos \delta \triangle Y - \sin \delta \triangle X),$$

so muss $\triangle X$, $\triangle Y$ und somit das Potential des täglichen Feldes überhaupt (da es aus $\triangle X$ und $\triangle Y$ allein berechenbar) nach dem Koeffizientensatze ebenfalls diese beiden Anteile besitzen, wie oben schon erwähnt.

Theoretische Verwertung. Der Satz giebt ferner die Abhängkeit der Amplitude vom absoluten Werte. Kennt man also z. B. des letzteren Abhängigkeit von der geographischen Breite und Länge, der Erhebung über oder unter die Erdoberfläche und dergl., so kennt man auch, ohne sie gemessen zu haben, die Abhängigkeit der Variation von diesen Grössen. Dies liegt auch in einem empirischen Satze von L. A. Bauer[1]) über die umgekehrte Proportionalität zwischen dem absoluten Werte der Intensität des Erdmagnetismus und der Amplitude der Variationen. Andererseits kann man auch aus bekannten Variationen die absoluten Werte ermitteln.

Praktische Verwertung. Die Erscheinungen der Meteorologie werden dem Experiment zugänglicher gemacht. Die meteorologische Natur des Schuster-Bezoldschen Feldes der täglichen Variation des Erdmagnetismus lässt sich nur erklären, wenn man erdelektrische Vorgänge zur Hilfe holt, so z. B. durch eine tägliche Variation der elektrischen Leitfähigkeit der Luft. Messungen der Variationen dieses Elementes, etwa mit Hilfe des Ballons, sind heute noch so gut wie unausführbar; man kann jedoch im Laboratorium das Gesetz finden, wie die Leitfähigkeit der Luft von deren Zustand und Zusammensetzung abhängt. Giebt man dann der zu untersuchenden Luft den Zustand, wie er der Norm in den verschiedenen Höhen entspricht, so erhält man dadurch die Abnahme der Leitfähigkeit mit der Höhe und somit durch den Koeffizientensatz die tägliche Variation der Leitfähigkeit mit der Höhe. Man kann also derart zu einer quantitativen Prüfung der elektrischen Natur der erdmagnetischen Variationen kommen. Was für die verschiedenen

1) Terr. Magnetism. **2**, 44—60, 1897.

Höhen Normalluft ist, haben die Fahrten des Berliner Vereines für Luftschiffahrt ergeben; die Schwierigkeit liegt in der Untersuchung der Leitfähigkeit so dichter Luft, als sie der unteren Atmosphäre entspricht.

Elimination der Variationen. Es kommt oft vor, dass man die Abhängigkeit eines geophysikalischen Elementes von irgend einer Grösse nur genähert kennt, da die nicht bekannten Variationen nicht eliminiert werden konnten. Ein Beispiel bietet die Abnahme der Luftfeuchtigkeit und -Temperatur mit der Höhe. Sofern man hier die Zustände in freier Atmosphäre versteht, kommen nur Drachen- und Ballonbeobachtungen in Frage; diese verteilen sich aber nicht regelmässig über den Tag und das Jahr. Kennt man aber angenähert die Funktion, welche diese Elemente von der Höhe sind, so kann man durch den Koeffizientensatz aus den harmonischen Konstituenten der Lufttemperatur und -Feuchtigkeit an der Erde die Variationskorrektion für jede Höhe berechnen. Für die Luftfeuchtigkeit hat Süring[2]) eine empirische Exponentialformel berechnet, während der Bearbeiter der Lufttemperaturmessung des Ballonwerkes, Berson, auf eine analoge Darstellung verzichtet hat, da für ihn die sonst so berechtigte Anschauung massgebend war, dass eine solche Formel nur eine rechnerische Darstellung wäre.

Allgemeine Bedeutung. Der Satz führt zu einer allgemeinen, zusammenhängenden Theorie der periodischen Erscheinungen auf unserer Erde. Hätte z. B. die Temperatur einen solaren und einen terrestrischen Anteil, so würden sehr viele von ihr abhängige sekundäre Elemente diese Natur ebenfalls haben, nämlich dann, wenn auch die anderen in Betracht kommenden primären Elemente entsprechend zusammengesetzt sind.

Die Grenzen der Gültigkeit. Falls ein sekundäres Element von einem primären in einem höheren Grade, also nicht linear abhängig ist, etwa vom Grade $k$, so muss für die Reihenentwicklung gesetzt werden $\varphi(t) = x_m^k$, worauf man den Koeffizientensatz wieder anwenden kann. Ferner müssen der Voraussetzung nach die $x_m$ voneinander unabhängig sein, und es ist drittens nötig, dass äussere Kräfte auf $f(t)$ nicht direkt wirksam sind, d. h. es dürfen nur sogenannte gezwungene oder nur freie Wellen auftreten, was alles im Einzelfall zu untersuchen ist.

1) Wiss. Luftfahrten d. Vereins für Luftschiffahrt. 3.

Analogien aus der reinen Physik. Der ausgedehnten Verwendung trigonometrischer Reihen in der Physik entsprechend, werden sich eine Menge Analogien zu der Anwendung des Koeffizientensatzes in der Physik finden lassen. Hier seien jedoch nur zwei Fälle erwähnt. Den einen bildet der Satz von Poisson, wonach das $n_{te}$ Kugelfunktionsglied eines Potentials einem proportionalen des induzierten entspricht. Der andere ist der von C. H. Wind[1]) in dieser Zeitschrift entwickelte, der davon handelt, die Energie in einem Punkte $P$ darzustellen aus der Erregung in der Quelle $Q$. Es ist nämlich seine Formel

$$\omega_n \alpha_n \sin\left[n \frac{\pi(t-t_p)}{T} + \varkappa_n\right] = c_m u_n \sin(U_n + nt).$$

Ein Unterschied besteht nur darin, dass $\omega_n$ in der Art, wie es hier zur Anwendung kommt, eine Funktion der instrumentellen Daten und damit eine Funktion von $n$ wird, da gezwungene Wellen auftreten. Sonst müsste $\omega$ und das daraus abgeleitete $\Omega$ für alle Wellen nach einer Komponente gleich sein, d. h. dieselbe Funktion sein, mit der ein Impuls sich in dem Medium fortpflanzen würde. Es liegt, wie gesagt, hier nur eine Analogie vor, die mir aber interessant genug erschien, sie zu erwähnen. Der wesentliche Unterschied gegen die hier besprochenen Fragen der Geophysik beruht darin, dass die Erregung in $Q$ jede beliebige Form besitzen kann und durchaus nicht in jedem Zeitintervall gleich, periodisch oder harmonisch zu sein braucht.

Auch bei geophysikalischen Fragen wird es immer nötig sein, zu untersuchen, ob die Bedingungen des jeweiligen Problems nicht die Grenzen der Gültigkeit des Satzes überschreiten, wie man denn überhaupt bei der Anwendung Fourierscher Reihen auf diesem Wissensgebiete vorsichtig und kritisch verfahren soll, dann aber auch in ihnen ein Hilfsmittel findet, das eine grosse Leistungsfähigkeit besitzt.

1) 2, 189—196, 1900.

Potsdam, Magnetisches Observatorium.

(Eingegangen 1. März 1901).

# REFERATE ÜBER DIE BERICHTE DES INTERNATIONALEN PHYSIKERKONGRESSES ZU PARIS.

**E. Warburg, Die Hysteresis.** 23 Seiten.

In der historischen Einleitung erörtert der Verfasser die verschiedenen Arten der bisher erforschten Hysteresiserscheinungen. Als Deformationshysteresis bezeichnet er die von Thomson 1879 entdeckte Thatsache, dass durch wachsende Torsion mehr Magnetismus verschwindet, als durch abnehmende wieder gewon-

nen wird und die analogen umgekehrten Erscheinungen; als Feldhysteresis die vom Verfasser aufgefundene und von Ewing etwas später unabhängig gleichfalls erkannte Wirkung, dass bei steigender Feldstärke in einem Eisenstück das magnetische Moment kleiner ist als bei fallender; endlich als Temperaturhysteresis die von Hopkinson aufgedeckte Thatsache, dass bei Erhitzung gewisse Legierungen ihren Magnetismus bei bestimmter Temperatur verlieren und bei Abkühlung dann minder magnetisch sind, als sie es bei gleicher Temperatur während des Erwärmens waren, bis sie bei einer bestimmten tiefen Temperatur wieder die ursprüngliche Susceptibilität annehmen. Im folgenden werden die Erscheinungen der Feldhysteresis behandelt.

Als Definition kann der Satz gelten, Hysteresis ist vorhanden, wenn, während eine Variable $x$ sich ausserordentlich langsam einfach stationär cyklisch ändert, eine Eigenschaft $y$ zwei bestimmte Werte liefert, die einem einzelnen $x$ entsprechen.

Zwischen Feldstärken von 0,0004 und 0,04 C.G.S. giebt es nach den Versuchsresultaten von Rayleigh und anderen Forschern keine Hysteresis.

Von der Feldstärke $\mathfrak{H} = 0.04$ C. G. S. bis zu einem von der Natur des Eisens abhängigen Werte lässt sich in schwachen Feldern die maximale Magnetisierung in der Form schreiben

$$\mathfrak{J}' = \alpha \mathfrak{H}' + \beta \mathfrak{H}'^2 \quad (\mathfrak{H}' \text{ Maximalfeldstärke.})$$

Für den ansteigenden Ast gilt dabei

$$\mathfrak{J}_1 = \alpha \mathfrak{H} + \beta \mathfrak{H}'^2 \left[1 - \tfrac{1}{2}\left(1 - \frac{\mathfrak{H}}{\mathfrak{H}'}\right)^2\right],$$

für den absteigenden

$$\mathfrak{J}_2 = \alpha \mathfrak{H} + \beta \mathfrak{H}'^2 \left[-1 + \tfrac{1}{2}\left(1 + \frac{\mathfrak{H}}{\mathfrak{H}'}\right)^2\right].$$

Der Hysteresisverlust ist für einen Umlauf dann

$$E = \int_{-\mathfrak{H}'}^{+\mathfrak{H}} \mathfrak{J}\, d\mathfrak{H} = \tfrac{4}{3} \beta \mathfrak{H}'^3.$$

Für stärkere Felder hat man keinen analytischen Ausdruck für die Hysteresiskurve. Bei graphischen Darstellungen trägt man gewöhnlich die Kurven $\mathfrak{B} - \mathfrak{H}$ auf. ($\mathfrak{B}$ magnetische Induktion.) Für den Hysteresisverlust gilt dann

$$E = \frac{1}{4\pi} \int \mathfrak{B}\, d\mathfrak{H}$$

und in grober Annäherung kann $\int \mathfrak{B}\, d\mathfrak{H} = 4\, C \mathfrak{B}'$ ($\mathfrak{B}'$ maximale magnetische Induktion, $C$ Koerzitivkraft) gesetzt werden.

Die wichtigsten experimentellen Bestimmungsmethoden sind die ballistische (Rowland, Ewing, Hopkinson u. s. w.) und die magnetometrische. In der Praxis findet die Jochmethode von Hopkinson die meiste Anwendung. Apparate zur automatischen Aufzeichnung von Hysteresiskurven rühren von Ewing und Ångström her.

Die physikalischen Verhältnisse, welche die Resultate beeinflussen, sind mehrfacher Art. Zunächst erhält man konstante Resultate in der Regel erst nach wiederholtem Durchlauf des Cykel. In schwachen Feldern vermag auch die magnetische Nachwirkung die Resultate zu beeinflussen. Ferner vermindern Erschütterungen während der Magnetisierung die Hysteresis und es ist auch nicht gleichgültig, ob die Feldänderung langsam oder plötzlich vorgenommen wird. Rasche Änderungen wirken wie mechanische Stösse. Schliesslich erzielt man noch einen den Erschütterungen entsprechenden Effekt dadurch, dass man während der Magnetisierung einen zirkular magnetisierenden Strom passieren lässt.

Zur Charakterisierung einer Eisensorte vom magnetischen Standpunkt wäre es erforderlich, ausser der chemischen Analyse die sämtlichen physikalischen Vorgänge, die das Material durchgemacht hat, anzuführen, was praktisch exakt nicht durchführbar erscheint. Besonders zu erwähnen wäre noch, dass nach Mordey in Transformatoren der Hysteresisverlust $E$ mit der Zeit zunimmt, wie wenn das Eisen härter würde. Von Verunreinigungen kommen hauptsächlich $C$, $P$, $Si$, $Mn$ und $S$ in Betracht. Eine geringe Beimengung von Phosphor scheint schädigender zu wirken, als eine solche von Kohle. Unmittelbar nach Ausglühen ist $E$ stark vermindert. Für Stahl zeigt sich nach S. Curie Zunahme der Koerzitivkraft mit steigendem Kohlenstoffgehalt bis zum Gehalt von 1.2 Prozent. Nickel zeigt ähnliches Verhalten wie Eisen.

Bezüglich des Einflusses der Erhitzung sind permanente und temporäre Wirkung auseinanderzuhalten. Nach Kunz vermindert sich $E$ mit steigender Temperatur beträchtlich; nach Morris zwischen $0^0$ und $200^0$ proportional der Temperatur. Fleming und Dewar fanden dagegen $E$ für schwedisches Eisen zwischen $15^0$ und $-185^0$ unabhängig von der Temperatur. Für Stahl sind die Verhältnisse komplizierter Natur.

Die Frage, ob der Hysteresisverlust im Innern eines Elektromagneten, der durch Wechselstrom gespeist wird, von der Wechselzahl abhängt, und ob er per Umlauf äquivalent dem Flächeninhalt der Kurve ist, die durch magnetostatische Messung zwischen denselben Feldgrenzen erhalten wird, wurde zuerst vom Verfasser und L. Hoenig in Angriff genommen, später von Weihe, Klemenčič, Wien u. A. fortgesetzt, ist aber noch nicht als erledigt anzusehen.

Rotiert eine Eisenmasse im Felde, so wechseln Richtung und Intensität der magnetisierenden Kraft cyklisch. Die Hysteresis bewirkt dann eine Ablenkung der Richtung der Magnetisierung im Sinne der Rotation. Die Verschiebung ergab sich bei den Versuchen von Martens mit horizontalen Scheiben, welche im Erdfeld

rotieren, unabhängig von der Rotationsgeschwindigkeit zwischen 2.5 und 200 Umdrehungen per Sekunde. Baily fand bei weichem Eisen innerhalb eines rotierenden Elektromagneten die bemerkenswerte Thatsache, dass der entsprechende Hysteresisverlust bei $\mathfrak{B}' = 17{,}000$ ein Maximum von 16000 *Ergs* per Cykel erreichte und dann rasch mit steigender Induktion abnahm, so dass er bei $\mathfrak{B}' = 20{,}000$ kaum mehr 2000 betrug.

Zur Erklärung der Hysteresiserscheinungen führte Ewing die Vorstellung ein, dass, unabhängig von irgendwelchen Reibungserscheinungen der Molekularmagnete, es für eine Gruppe von Magneten mehrere stabile Gleichgewichtslagen geben könne, von denen die einen $M$ dem magnetischen Zustand, die anderen $N$ dem unmagnetischen angehören. Naturgemäss geht das System von einer stabilen Gleichgewichtslage in eine andere durch eine instabile hindurch; wenn also die Gruppe unter dem Einfluss des Feldes von einer Position $N$ zu einer Nachbarposition von $M$ geht, und wenn man dann das Feld unterbricht, so hat die Gruppe, welche die Position $M$ annimmt, permanenten Magnetismus erworben.

In einem Temperaturintervall zwischen 700° und 870° verliert das Eisen seine magnetische Eigenschaft; man nennt dieses Intervall das kritische. Am eingehendsten hat sich mit der Frage der durchgreifenden Änderungen der hysteretischen Erscheinungen, die durch physikalische Behandlung, wie das Härten oder die Erwärmung, hervorgerufen werden, Osmond befasst. Man darf nach diesem Forscher annehmen, dass beim Härten des Stahls die Transformation, welche im kritischen Intervall beim Erhitzen eingetreten ist, bei der plötzlichen Abkühlung nur teilweise verschwindet, so dass gehärteter Stahl als eine Mischung von magnetischem und unmagnetischem Eisen aufzufassen wäre.

Vom physikalischen Standpunkte muss nach Weber angenommen werden, dass im magnetischen Eisen die Teilchen anders gelagert sind als im unmagnetischen, dass also zwischen der molekularen Konstitution in beiden Fällen ein Unterschied vorhanden ist. Vom chemischen Gesichtspunkt muss betont werden, dass Eisen die Fähigkeit, sich härten zu lassen, erst durch Beimengungen (*C*, *Mn*, *W* u. s. w.) annimmt, deren Einfluss sich nach Osmond dahin geltend macht, dass die Verwandlung von unmagnetischem Eisen in magnetisches erschwert wird.

Ob die Anwesenheit fremder Körper im Eisen unumgänglich nötig für die Hysteresiserscheinungen ist, lässt sich mit Rücksicht auf den ausserordentlich grossen Einfluss sehr geringer Beimengungen, die bisher nie vermieden werden konnten, nicht entscheiden.

An diese Abhandlung schliesst sich ein Anhang über die Verwandlungen des kohlenstoffhaltigen Eisens von J. H. van't Hoff, 4 Seiten.

St. Meyer (Wien).

(Eingegangen 16. Januar 1901.)

# VORTRÄGE UND DISKUSSIONEN VON DER 72. NATURFORSCHERVERSAMMLUNG ZU AACHEN.

## E. Warburg (Berlin), Die Hysteresis.

Der Vortrag entsprach dem Inhalte nach dem vorstehend referierten Berichte auf dem internationalen Physikerkongress zu Paris.

### Diskussion.

Benischke (Berlin). Im Anschluss an dieses Referat möchte ich kurz das Ergebnis einer Untersuchung mitteilen, welche gezeigt hat, dass die Hysteresis eines Eisenkernes, der durch einen Wechselstrom magnetisiert war, von der Kurvenform des Wechselstromes abhängig ist. Zu den Versuchen wurde eine flache, eine spitze, und eine sinusartige Kurve angewendet, und die Klemmenspannung der Magnetisierungsspule wurde so eingestellt, dass die grösste Magnetisierung in allen drei Fällen dieselbe war ($B = 10000$). Es hätte also die Materialkonstante des Steinmetzschen Gesetzes ($\eta \cdot B^{1,6}$) in allen drei Fällen als gleich herauskommen sollen. Es zeigte sich aber, dass dies nicht der Fall ist, und es lässt sich eine Abhängigkeit des $\eta$ von dem sogenannten Scheitelfaktor der Kraftlinienkurve feststellen. Unter Scheitelfaktor ist das Verhältnis des Scheitelwertes (der Amplitude) zum geometrischen Mittelwerte (dem effektiven Werte) der Kurve zu verstehen, der für die Technik in erster Linie in Betracht kommt. — Die Untersuchung wurde so ausgeführt, dass der in einem Eisenkörper auftretende Wattverbrauch durch ein Wattmeter bei verschiedenen Periodenzahlen gemessen wurde. Es lässt sich dann aus der Gleichung für den gesamten Wattverbrauch

$$A = \eta \cdot n \cdot B^{1,6} + \beta \cdot n^2 \cdot B^2,$$

wobei $n$ die Periodenzahl und das letzte Glied den auf die Wirbelströme entfallenden Wattverbrauch darstellt, die Materialkonstante $\eta$ bestimmen. Wenn die Magnetisierung immer die gleiche ist, und trotzdem verschiedene Werte für $\eta$ herauskommen, so folgt, dass die Hysteresis von der Geschwindigkeit der Änderungen abhängen muss.

Quincke (Heidelberg). Wie verhält sich elektrolytisches Eisen? Wie reines Eisen? Oder sind da auch noch fremde Substanzen drin?

Warburg. Osmond hat elektrolytisches Eisen untersucht, und dieses enthielt Kohle [contrairement aux prévisions ce fer électrolytique s'est trouvé contenir un peu du carbone (0.08 auf 100). M. Fresnard, Transformations du fer et du carbone 1888, S. 25]. Ich habe keine Erfahrung darüber. In der Litteratur finde ich weiter nichts.

Quincke. Ich kann nicht verstehen, wie in elektrolytisches Eisen, das man aus einer Lösung ohne Kohle abscheidet, Kohle hinein kommt.

M. Wien (Aachen). Es ist, soviel ich weiss, eine Kommission zur Untersuchung der Hysteresis eingesetzt. Kann darüber vielleicht jemand Auskunft geben?

Benischke. Die Hysteresiskommission des Verbandes deutscher Elektrotechniker hat bisher noch keine Beschlüsse gefasst, da die zu lösenden Fragen keineswegs einfach sind. Es ist aber wahrscheinlich, dass zur Eisenuntersuchung die Wattmetermethode gewählt werden wird, da die ballistischen Methoden zu umständlich und die Jochmethoden wegen der Schwierigkeit, gleichartige Probestücke herzustellen, namentlich wenn es sich um Eisenblech handelt, zu wenig verlässlich sind. Die Wattmetermethode ist sehr einfach und erfordert nicht einmal ein richtig geaichtes Wattmeter, weil die Wattmeterkonstante bei der Bestimmung der Materialkonstante $\eta$ herausfällt.

M. Wien. Ich glaube auch, dass alle diese Versuche an geschlossenen Eisenringen gemacht werden müssen.

W. Wien (Würzburg). Ich erinnere mich einer Notiz von Beetz aus früheren Jahren über kohlehaltiges elektrolytisches Eisen.

Rellstab (Braunschweig) fragt Benischke, ob er die Wechselzahl variiert hat: Der Hysteresisverlust ist eine Funktion der Zeit. Nun gelten zwar die Hysteresisverluste in sehr weiten Grenzen als unabhängig von der Wechselzahl; aber es wäre wichtig dies auch hier festzustellen. Wenn man die Abhängigkeit des Hysteresisverlustes von den verschiedenen Schwingungszahlen darstellt, kommt man vielleicht zu übersichtlichen Resultaten.

Benischke. Die Wattmetermethode erfordert, dass man innerhalb der zur Messung herangezogenen Polwechselzahlen von diesen unabhängig ist, sonst ist sie überhaupt nicht anwendbar. Sie besteht bekanntlich darin, dass man den genannten Eisenverlust bei zwei möglichst weit auseinanderliegenden Polwechselzahlen misst. Man hat dann zwei Gleichungen, aus denen man die Hysteresiskonstante $\eta$ und die Wirbelstromkonstante $\beta$ ausrechnen kann. Es ist also Voraussetzung, dass die Konstanten innerhalb dieser Grenzen von der Polwechselzahl unabhängig sind. Natürlich muss die Geschwindigkeit der Magnetisierung eine Rolle spielen. Aber wenn in der Sekunde $n$-mal solche Kreisläufe stattfinden, so muss die Hysteresis $n$-mal so gross werden. Ich glaube, Herr Rellstab hat angespielt auf die Oberschwingungen. Ich bemerke, dass meine Kurven nur aus zwei Gliedern bestanden. $A \sin (pt) + B \sin (3pt)$ ist die Gleichung der flachen Kurve. Bei der spitzen Kurve steht statt des + ein —, und die dritte ist eine Sinuskurve.

Wind (Groningen). Schon Ewing hat versucht, den Übergang von magnetischem zu unmagnetischem Eisen dadurch zu erklären, dass die Verkettung der Molekularbewegung aufgebrochen ist bei hoher Temperatur, so dass da die Erscheinungen des permanenten Magnetismus wegfallen müssen. Ich möchte Herrn Warburg fragen, wie weit diese Erklärung ausreichen könnte.

Warburg. Sie haben mich vielleicht nicht ganz richtig verstanden, oder ich habe mich schlecht ausgedrückt. Bei unmagnetischem Eisen, sagte ich, bilden sich vielleicht Ketten.

Wind stellt, unterbrechend, fest, dass er denn auch „Gruppierung", nicht „Verkettung" meint.

Warburg. Ewing nimmt an, dass die Molekularmagnete rotieren, und darum soll der Magnetismus verschwinden.

Wind. Wie aber, wenn man sich vorstellt, dass die Molekularbewegung überhaupt eine lockernde Wirkung auf die Molekülgruppen ausübt? Sie wird dann, bei nicht zu hohen Temperaturen wenigstens, die Fähigkeit der Molekülgruppen erhöhen, sich unter dem Einfluss einer induzierten magnetischen Kraft in stärker polarisierte Gruppen zu verwandeln, und zwar um so mehr, je kräftiger sie selber schwingen, je höher also die Temperatur ist. Muss dann aber nicht auch eine Temperaturgrenze existieren, oberhalb deren, eben durch die Heftigkeit der Molekularbewegung, praktisch jede permanente Molekülgruppierung und auch jede permanente Polarisierung von Molekülgruppen unmöglich wird?

Warburg. Diese ganze Gruppengeschichte ist nicht nötig, um den Magnetismus zu erklären, sondern die Hysteresis. Aber bei sehr hoher Temperatur verschwindet nicht nur die Hysteresis, sondern auch der Magnetismus.

(Von den Beteiligten durchgesehenes Stenogramm von B. Borchardt.)


## Gesuche.

**„Dr. d. Physik,** der als Assistent zur Leitung des Praktikums an einer Universität angestellt war und verschiedentlich wissenschaftliche Arbeiten veröffentlicht hat, sucht **Assistentenstelle** zum 1. April." Gefl. Offerten unter **H. Z.** an die Redaktion d. Physik. Zeitschr. (Frankfurt a. M., Kettenhofweg 113 II) erbeten.


Für die Redaktion verantwortlich Dr. H. Th. Simon in Frankfurt a. M. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.